



# *Chiacchiere sul Quantum Computing*

*(ovvero)*

*lele Tripiccione*

*Pisa, 17 Gennaio 2020*



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

# *Chiacchiere sul Quantum Computing*

*(introduzione al talk di Davide...)*

*lele Tripiccion*

*Pisa, 17 Gennaio 2020*



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

## *Sommario:*

- 1. Calcolatori “classici”*
- 2. Una questione di “definizione” → Quantum 1.0 vs 2.0*
- 3. Citazioni da Feynman*
- 4. Simulatori e calcolatori “quantistici” vs. “classici”*
- 5. Quantum technologies per l’ INFN*

## Calcolatori classici: una definizione “sufficientemente teorica”

*Un black box:*

*Parto da  $C^0$  arbitraria configurazione di bit*

$$C^K = \{b_N^K, b_{N-1}^K, \dots, b_0^K\} \quad b_l \in \{0,1\} \quad N \approx 10^{16}$$

*Esiste un set di trasformazioni (istruzioni) che trasformano ogni configurazione in un'altra*

$$T_m: C^K \rightarrow C^{K'}$$

*Eseguo un “programma” che produce una configurazione finale*

$$C^F = (T_F \ T_{F-1} \ \dots \ T_1 \ T_0) C^0$$

*$C^0$  codifica in un qualche formato i miei dati iniziali ...*

*$C^F$  codifica la risposta alle mie domande (se il programma e' corretto...)*

## *Calcolatori classici: una definizione “sufficientemente teorica”*

*Enorme sviluppo tecnologico di questo concetto negli ultimi 50-60 anni:*

- *Alcuni numeri (ovvi ma impressionanti) →*

$$N \sim 10^{16}$$

*Tempo medio di esecuzione di ogni  $T_m \sim 10^{-15}$  sec*

*Computing Depth  $\sim 10^{20}$*

- *Strumenti raffinatissimi per sviluppare i corretti  $(T_F \ T_{F-1} \ \dots \ T_1 \ T_0)$*

## ***Classici oppure Quantum 1.0???***

*I calcolatori sono basati sui transistor (e le comunicazioni ottiche sui laser),  
il cui funzionamento puo' essere descritto solo in ambito quantistico ....*

## Classici oppure Quantum 1.0???

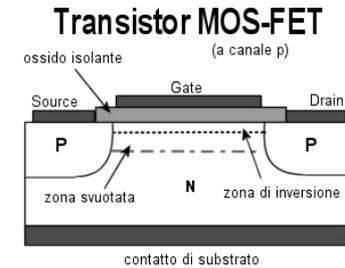
*I calcolatori sono basati sui transistor (e le comunicazioni ottiche sui laser),  
il cui funzionamento puo' essere descritto solo in ambito quantistico ....*

*Densita' degli e<sup>-</sup> di conduzione:  $10^{21} \text{ cm}^{-3}$*

*Dimensione di un gate:  $(100 \times 10 \times 10) \text{ nm}^3 \sim 10^{-17} \text{ cm}^3$*

*Un transistor conduce (o non conduce) corrente  
controllando popolazioni di almeno  $\sim 10^4 e^-$*

*Dunque → la fenomenologia macroscopica dei transistor si basa su valori medi su  
numeri “grandi” di elettroni → Struttura “classica”....*



## **Classici oppure Quantum 1.0???**

*I calcolatori sono basati sui transistor (e le comunicazioni ottiche sui laser),  
il cui funzionamento puo' essere descritto solo in ambito quantistico ....*

*Ancora piu' evidente per le comunicazioni su fibra ottica*

*Un link ottico con banda  $B = 100 \text{ Gbit/sec}$  e usa una potenza  $P \sim 3 \text{ W}$   $\rightarrow$*

*Ogni bit e' trasportato da un numero di fotoni* 
$$N_y = \frac{P\lambda}{hc} \times \frac{1}{B} \approx 10^8 \quad (\lambda \approx 850 \text{ nm})$$

*Anche in questo caso il comportamento macroscopico e' del tutto classico!!!*

## **Quantum 1.0 vs Quantum 2.0 ....**

*Per osservare effetti quantistici devo costruire controllare e misurare la dinamica coerente*

*(e non il valor medio statistico) di singoli gradi di liberta' del mio sistema*

*Se questo succede →*

***calcolatori (o simulatori o dispositivi o canali di comunicazione) quantistici →***

***Quantum 2.0***

*Citazioni da R. P. Feynmann, Simulating physics with computers, Int. J. of Theoretical Physics, 21 (1982)*

## **Quantum simulation** →

*I therefore believe that it's true that with a suitable class of quantum machines**S** you could imitate any quantum system, including the physical world.*

*Citazioni da R. P. Feynmann, Simulating physics with computers, Int. J. of Theoretical Physics, 21 (1982)*

## ***(Universal) Quantum computing →***

*It has been found that there is a kind of [classical] universal computer that can do anything, and it doesn't make much difference specifically how it's designed.*

*The same way we should try to find out what kinds of **quantum mechanical systems** are mutually intersimulable, and try to find **a specific class, or a character of that class, which will simulate everything***

## **Calcolatori QUANTISTICI: una definizione “sufficientemente teorica”**

Ancora una volta un “black box”:

Qbit: grado di liberta' quantistico “semplice” ( sistema a due “soli” livelli)

$|q\rangle$  vive in uno spazio vettoriale con base  $\{|+\rangle, |-\rangle\}$ , o, se piace di piu',  $\{|0\rangle, |1\rangle\}$

$N$  Qbit vivono nello spazio vettoriale descritto sulla base canonica

$|B\rangle_N = \{|b_N\rangle |b_{N-1}\rangle \dots |b_0\rangle\}$       $|b_j\rangle$  in  $\{|0\rangle, |1\rangle\}$       $N \sim 10 \dots 50$

Uno stato  $|S^K\rangle$  e' una sovrapposizione dei  $|B\rangle_N$  con arbitrari coefficienti

L'evoluzione di  $|S^K\rangle$  e' descritta da operatori unitari  $\rightarrow$       $|S^K\rangle = U |S^K\rangle$

La sequenza ordinata di tanti operatori applicati allo stato e' il “programma” quantistico.

$$|S^F\rangle = U_F U_{F-1} \dots U_0 |S^0\rangle$$

## CLASSICO vs. QUANTISTICO

### In principio:

- Un “registro quantistico” e’ in grado di immagazzinare una quantita enorme di informazione

( $N = 50$  permette una sovrapposizione di  $2^{50} \sim 10^{15}$  termini) →

Calcolo “intrinsecamente” parallelo – Dimostrata una drastica riduzione della complessita’ comp.

- Ma:

*L’ instruction-set e’ costituito solo da operatori unitari*

*se il registro viene misurato “collassa” su uno degli autostati (OKKIO a cosa si misura)*

*uno registro NON puo’ essere copiato senza essere distrutto (no cloning theorem)*

*OKKIO quindi a come realizzare gli IF*

## CLASSICO vs. QUANTISTICO

### In pratica:

*Tecnologia emergente e non stabilizzata (SQUID, Atomi Freddi, Ioni, Fotoni polarizzati ???)*

*Necessita' di mantenere la coerenza dello stato (nessuna interazione con l' ambiente) ...*

*... in ogni caso difficile da gestire (criogenia piu' o meno spinta)*

*Nessuna metodologia efficace disponibile per scrivere i corretti programmi*

*D'altra parte →*

## CLASSICO vs. QUANTISTICO

### In pratica:

*Tecnologia emergente e non stabilizzata (SQUID, Atomi Freddi, fotoni polarizzati ???)*

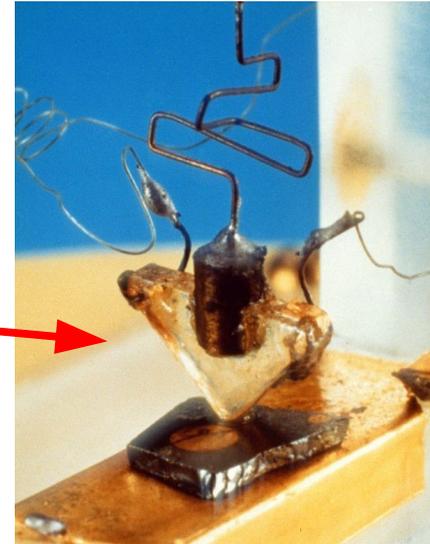
*Necessita' di mantenere lo stato coerente (nessuna interazione con l' ambiente)*

*In ogni caso difficile da gestire (criogenia piu' o meno spinta)*

*Nessuna metodologia efficace disponibile per scrivere i corretti programmi*

*D'altra parte →*

*Chi avrebbe potuto pensare che questo scarrafone avrebbe  
influenzato la tecnologia, l'economia, la societa del XX+ secolo????*

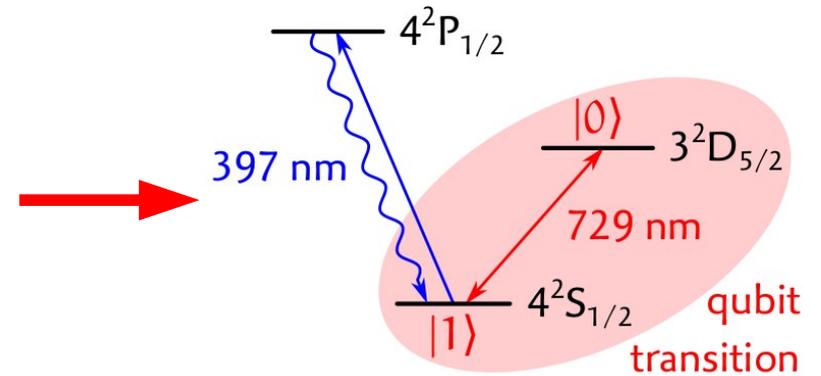
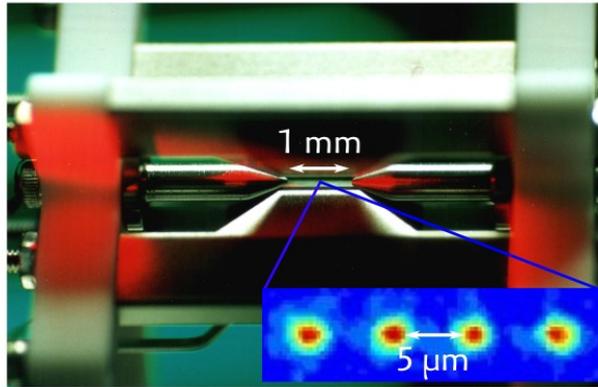


## Quantum technologies ....

*Come si costruisce un QBIT? → chiedere a Davide e Oliver*

*Per ora:*

*AQT*

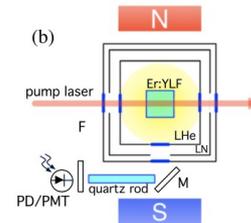
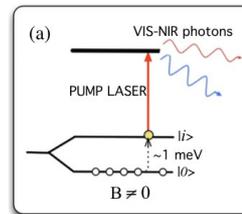


*E se uno sa gestire correttamente questi oggetti puo' utilizzarli in contesti diversi →*

# *Dispositivi quantistici come detector per la fisica fondamentale*

*Un esempio: quantum sensing alla ricerca degli assioni .....*

AXION DETECTION WITH ATOMIC TRANSITIONS



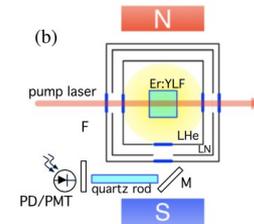
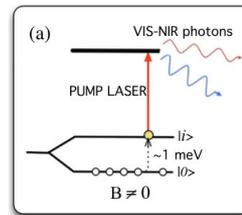
- ▶ axion-induced transitions take place between Zeeman-split ground state levels in **rare-earth doped materials**
- ▶ transitions involve electrons in the 4f shell (as if they were free atoms...)
- ▶ a tunable laser pumps the excited atoms to a **fluorescent level**
- ▶ crystal immersed in LHe and superfluid He

# Dispositivi quantistici come detector per la fisica fondamentale

Un esempio: quantum sensing alla ricerca degli assioni .....

Sforzo importante dell' INFN  
per capire in che direzione muoversi  
da questo punto di vista ....

AXION DETECTION WITH ATOMIC TRANSITIONS



- ▶ axion-induced transitions take place between Zeeman-split ground state levels in **rare-earth doped materials**
- ▶ transitions involve electrons in the 4f shell (as if they were free atoms...)
- ▶ a tunable laser pumps the excited atoms to a **fluorescent level**
- ▶ crystal immersed in LHe and superfluid He



*That's all folks .....*

